

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2002006349 A**(43) Date of publication of application: **09.01.02**

(51) Int. Cl.

G02F 1/35**H01S 3/10****H01S 3/30****H04B 10/16****H04B 10/17**(21) Application number: **2001111420**(22) Date of filing: **10.04.01**(30) Priority: **20.04.00 US 2000 552772**(71) Applicant: **LUCENT TECHNOL INC**

(72) Inventor: **GRANT ANDREW R**
MAMYSHEV PAVEL
VIKTOROVICH
MOLLENAUER LINN FREDERICK

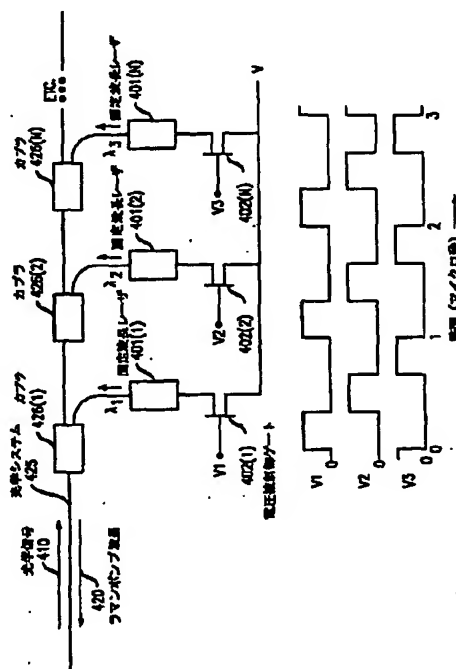
(54) **METHOD FOR PUMPING OPTICAL SYSTEM**
HAVING PLURAL RAMAN PUMPS

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for facilitating generation and use of a flat and broad-band Raman gain in an optical transmission system.

SOLUTION: A flat and broad-band gain is obtained by using Raman amplification in which time-division multiplexed plural wavelengths are backward-pumped. By means of a frequency scanning method, it is possible to generate a flat gain (variation of 0.05% or less) over a gain bandwidth of 8 THz at least while making it possible to adjust a shape of a gain bandwidth required for solving drawbacks of various systems. Favorably, all of these conditions can be established and changed within milliseconds using a known and simple full-electronic control.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-6349

(P2002-6349A)

(43) 公開日 平成14年1月9日(2002.1.9)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	7-コード(参考)
G 0 2 F 1/35	5 0 1	G 0 2 F 1/35	5 0 1 2 K 0 0 2
H 0 1 S 3/10		H 0 1 S 3/10	Z 5 F 0 7 2
		3/30	Z 5 K 0 0 2
H 0 4 B 10/16		H 0 4 B 9/00	J
10/17			

審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2001-111420(P2001-111420)	(71) 出願人	596077259 ルーセント テクノロジーズ インコーポ レイテッド Lucent Technologies Inc. アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー 600-700
(22) 出願日	平成13年4月10日(2001.4.10)	(74) 代理人	100081053 弁理士 三俣 弘文
(31) 優先権主張番号	0 9 / 5 5 2 7 7 2		
(32) 優先日	平成12年4月20日(2000.4.20)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

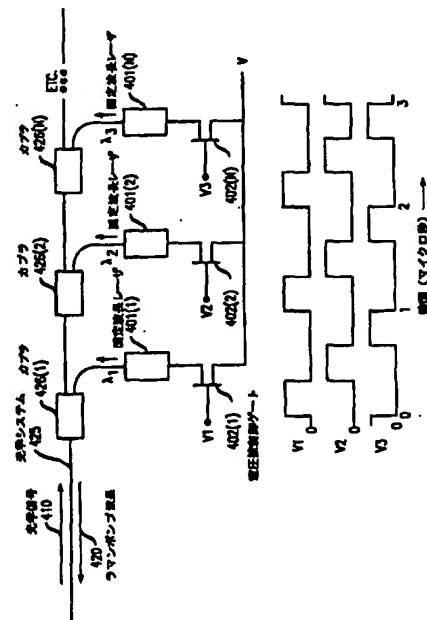
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 複数のラマンポンプを有する光学システムをポンピングする方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 光学伝送システムにおいて、平坦で高帯域のラマンゲインの生成と利用を容易にするような方法と装置を提供する。

【解決手段】 時分割多重化された複数の波長を後方ポンプされたラマン増幅を用いて平坦で高帯域のゲインを得る。周波数掃引方法は、様々なシステムの欠点を解決するのに必要とされるゲインのバンド幅の形状に対し幅広く調整可能にしながら、少なくとも8 THzの幅でゲインのバンド幅にわたって平坦なゲイン(変動が0.05%以下)を生成できる。好ましいことにこれらの条件の全ては、公知で単純な全電子制御を用いて、ミリ秒カンド内で確立し変更することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ラマンポンプ波長を光学システムに時分割多重化するステップを有することを特徴とする複数のラマンポンプを有する光学システムをポンピングする方法。

【請求項2】 前記ラマンポンプ波長は、個々の波長からなる有限の組を有することを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項3】 前記複数のラマンポンプは、波長が変動するポンプ信号を生成することを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項4】 前記ラマンポンプ波長と光学信号は、同一方向に光学システム内を伝搬することを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項5】 前記ラマンポンプ波長と光学信号は、反対方向に光学システム内を伝搬することを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項6】 前記選択されたラマンポンプ波長は、個々の波長からなる有限の組を有し、他の選択されたポンプ波長は変動することを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項7】 光学バスと、前記光学バスと光学的結合する複数のカプラと、前記光学カプラに光学結合する複数のラマンポンプと、を有する光学システムをポンピングする方法において、ラマンポンプから出力されるラマンポンプ波長は、前記光学システム内で時分割多重化されることを特徴とする光学システムをポンピングする方法。

【請求項8】 前記ラマンポンプ波長は、個々の波長からなる有限の組を有することを特徴とする請求項7記載の方法。

【請求項9】 前記ラマンポンプ波長は、変動することを特徴とする請求項7記載の方法。

【請求項10】 前記ラマンポンプ波長と光学信号は、同一方向に光学システム内を伝搬することを特徴とする請求項7記載の方法。

【請求項11】 前記ラマンポンプ波長と光学信号は、反対方向に光学システム内を伝搬することを特徴とする請求項7記載の方法。

【請求項12】 前記ラマンポンプ波長のうち選択された波長は、個々の波長からなる有限の組を有し、他の選択されたポンプ波長は変動することを特徴とする請求項7記載の方法。

【請求項13】 光学バスと、複数の光学ラマンポンプ波長を生成する手段と、前記複数の光学ラマンポンプ波長を、前記光学バスに結合する手段と、を有する光学システムにおいて、前記複数の光学ラマンポンプ波長は、時分割多重化されていることを特徴とする光学システム。

【請求項14】 前記光学ラマンポンプ波長は、有限の

組の個々の波長を有することを特徴とする請求項13記載の光学システム。

【請求項15】 前記複数の光学ラマンポンプ波長は、変動する波長の組を含むことを特徴とする請求項13記載の光学システム。

【請求項16】 前記ラマンポンプ波長は、光学信号が光学バス内を流れるのと同方向に光学バスに結合することを特徴とする請求項13記載の光学システム。

【請求項17】 前記ラマンポンプ波長は、光学信号が流れるのと反対方向に光学システムに結合することを特徴とする請求項13記載の光学システム。

【請求項18】 前記選択されたラマンポンプ波長は、個々の信号からなる有限の組を有し、他の選択されたポンプ波長は変動することを特徴とする請求項13記載の光学システム。

【請求項19】 ラマンポンプから生成されたラマンポンプ波長は、時分割多重化されるように、複数のラマンポンプから光学システムをポンピングする方法。

【請求項20】 前記ラマンポンプ波長は、反対方向に伝搬する信号であることを特徴とする請求項19記載の方法。

【請求項21】 複数の光学ラマンポンプを有する光学システム内のラマンゲインバンドを生成する方法において、前記ラマンポンプにより生成された光学ラマン信号を、光学システム内に時分割多重化するステップを有することを特徴とする光学システム内でラマンゲインバンドを生成する方法。

【請求項22】 前記光学ラマンポンプ波長は、光学信号と反対方向に伝搬する信号であることを特徴とする請求項21記載の方法。

【請求項23】 前記ラマンポンプ波長は、複数のレーザにより生成された波長変動信号であり、前記波長変動の特性と、前記レーザの出力パワーの同期制御が組み合わされることを特徴とする請求項22記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光通信に関し、特に、広いバンド幅にわたって平坦なラマンゲインを生成する方法と装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 全光伝送に対する初期の提案（例えば、A. Hasegawa, 著の "Numerical study of optical soliton transmission amplified periodically by the stimulated Raman process," Appl. Opt., 23, 1095 (1984); と、L. F. Mollenauer, J. P. Gordon, and M. N. Islam, 著の "Soliton propagation in long fiber with periodically compensated loss," IEEE J. Quantum Electronics QE-22, 157 (1986) を参照のこと）は、ラマン効

果に基づいて得られたゲインを用いて、伝送用の光ファイバのスパン（一部）を増幅器に変えている。このようなスキームは多くの利点を提供し、そして実際のところ全光長距離伝送の最初のデモンストレーションに対し成功裏に用いられており、これはその後、L. F. Mollenauer とK. Smithの著による“Demonstration of soliton transmission over more than 4000 km in fiber with loss periodically compensated by Raman gain,” which appeared in Opt. Lett. 13, 675(1988)で報告されている。

【0003】しかし1980年代後半のエルビウムファイバ増幅器の出現により、ラマン増幅は、主に必要とされるポンプパワーの大きさゆえに現在では余り利用されなくなっている。すなわち、信号パワーが1-2 mW程度の単一チャネル伝送においては、正のラマンゲインを得るのに必要な数百mWのしきい値パワーは大きすぎ、そして今のところ実用的ではない。高密度WDM（正味信号レベルは100 mW程度）が近年優勢になるにつれて、そして数百mWの出力を有する半導体ポンプレーザが同時に市場に出てくるにつれて、選択する技術が変わりつつある。現在ラマンゲインは、ノイズ／非線形のペナルティー（欠点）を解決する能力があるため、およびゲインのバンド幅の場所と大きさは利用可能なポンプ波長にのみ依存するという事実のために高く評価されている。高密度WDMに対するラマン増幅の別の重要な利点は、エルビウム増幅器とはまったく対照的に、ラマンゲインのバンド幅の形状は、ポンプレベルと信号レベルとは無関係である点である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、光学伝送システムの重要性ゆえに、ラマンゲインの生成と利用を容易にするような方法と装置を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の方法は、広いラマンゲインのバンド幅を得るために、結合したポンプ波長を時分割多重化することである。

【0006】様々なポンプ波長が互いに相互作用するのを阻止する方法として、最初に考えられたもので、本発明の方法は、周波数掃引を行う際に、いくつかの重要な利点を有する。

【0007】具体的に説明すると、本発明の周波数掃引方法は、様々なシステムの欠点を解決するのに必要とされるゲインのバンド幅の形状に対し幅広く調整可能にしながら、少なくとも8 THzの幅でゲインのバンド幅にわたって平坦なゲイン（変動が0.05%以下）を生成できる。好ましいことにこれらの条件の全ては、公知で単純な全電子制御を用いて、ミリ秒内で確立し変更することができる。

【0008】

【発明の実施の形態】図1を参照して、本発明のバックグラウンドを説明する。図1にはラマン効果を示す図である。図1によれば、シリカガラス製のファイバ中のラマン効果は、基底状態101から仮想状態102へのポンプ誘導遷移と、この仮想状態102からの放射103が後に続く。放射103は、格子の励起状態104に至ると終了する。励起状態104からの放射105（通常数フェムト秒内で発生する）で、基底状態101へ戻ることになる。

10 【0009】光学遷移は、励起電子レベルに対しては極めて高い非共鳴性を有し、通常このレベルはシリカガラス内では基底状態から5-6 eV上の場所にある。このため光学遷移は、非常に強いマトリックス原子から主に強度を得て、第1電子状態へ移る。

20 【0010】緩和が極端に速いために、光学放射の最終状態の分布（population of terminal state）は、とり囲んでいるフォノンバスと平衡状態で決定され、そのため光学ポンピングと放射の割合とはほとんど無関係である。このことは、光学ポンピング動作（optical pumping dynamics）からのラマンゲインのバンド幅の形状とは無関係となる原因である。

【0011】ラマン応答は、本質的に瞬間的なものであり、それゆえに順方向ポンピング（ポンピング光と信号光が同一方向に伝搬する）において、信号パターン上でのゲインの依存性における重大な問題を引き起こす傾向がある。しかし後方ラマンポンピングで得られるポンプ光と信号光との間の相互作用を行う長い有効パス（特定ファイバ損失長さの2倍に等しい）は、通常、数百マイクロ秒の有効積分時間に対応する。これは高いポンプパワーレベルと信号パワーレベルで動作するエルビウム増幅器の積分時間以上となり、さらにまたパターンの依存性の問題を解決するのに必要な長さ以上となり、これは本発明の時分割多重化スキームについても当てはまる。

30 【0012】ラマン効果は、ポンプ光と信号光が同一偏光の時に最大となり、それらが直交して偏光するときにはほぼゼロとなる（図1においては、この偏光依存性を解決する2つの方法が示されており、その第1の方法は、ポンプ光そのものを無偏光にすることであり、第2の方法は、後方ラマンポンピングのみを用いることである）。

40 【0013】後者の場合、通常ファイバの複屈折に応答して、反対方向に伝搬するポンプ光と信号光を表すStokesベクトルは、反対方向にPoincare球を回転し、そしてパス平均ベースでポンプ光と信号光の相対的な偏光状態を完全に平均化する。いずれの方法もそれ自身としては有効であるが、一緒に用いる場合にはラマンゲインの測定可能な偏光依存性は、一緒に消失する傾向がある。

【0014】ポンプ光子と信号光子は、以下の一対の結合式にしたがって互いに相互作用する。

50 【数1】

$$\frac{\phi_s}{P_s} = \left(-\alpha_s + \frac{R}{A_{\text{eff}}} P_s \right) dz \quad (1a)$$

【数2】

$$\frac{\phi_p}{P_p} = \left(-\alpha_p + \frac{R}{A_{\text{eff}}} P_p \right) dz \quad (1b)$$

ここで α_p と P_p は、ポンプ波長におけるファイバ損失係数とパワーを表し、 α_s と P_s は、信号波長においてファイバ損失係数とパワーを表す。 A_{eff} は、ファイバの有効コア面積であり、 R はラマンゲイン係数である。純粋のシリカ製ファイバにおける偏光が同じポンプ光と信号光に対するラマンゲイン帯域のピークにおいては、 $R = 68 \text{ km}^{-1} \text{ W} / (\mu\text{m})^2$ であり、偏光が異なるポンプ光に対しては、その値はほぼ半分となる。 R は、光ファイバの G_e の含有量が増加すると大幅に増加する。

【0015】ラマンゲイン帯域の正確な形状は、ガラス組成に依存するが、ほぼ純粋なシリカガラスに対しては図1に示すように、そして分散シフト型ファイバに対しては図2に示すように、その形状は非対称で、周波数差がゼロの方向に対しては、ほとんど線形の傾斜となり、ピークの高周波側でははるかに急な傾斜となる。より平坦なゲイン帯域を達成するために、多重化ポンプ周波数（すなわち波長）を使用する場合には、ラマン応答の非対称性は、様々なポンプ波長の相対的なパワーの高い非均一性を支配する傾向がある。しかし所望の分布は、それがいかに複雑なものであっても、本明細書で記述すべき技術をもって容易かつ経済的に達成可能である。

【0016】本願の発明者らは、本発明の態様は、マルチポンプ波長の使用に伴う基本的な問題点、すなわちラマン効果そのものにより得られる、非常に強く、かつ有害な相互作用を解決する1つの方法とみなしていた。最も単純な例においては、2個のポンプ波長間の相互作用を考えると、その相互作用は、2個のポンプ波長のうちの長い方の波長を信号として取り扱うことにより、結合式(式1)から計算できる。

【0017】図3に示すように、ポンプ波長が光ファイバの中を伝搬するにつれて、エネルギーは短い波長から長い波長へ急速に移り変わる。そのためバス平均ベースで2つのポンプの間の相対的なパワーの分布は、初期の分布（最初に意図した分布）とはまったく異なる。さらにまた、ラマンゲインは、ファイバ損失が線形となるように、ファイバのスパンにわたって均一に分布していることが重要であるため、短い波長パワーをあらかじめ強化しておくことは十分な解決方法ではない。しかし2つのポンプ波長が、異なる時間に（ずれて）ファイバ中を伝搬すると、この相互作用を回避することができる。パワーが2つの波長間を行ったり来たりする（dithered back and forth）ような速度は、有効積分時間に対し十分速い限り、累積した信号ゲインは、時間（それゆえにパ

ターン）とは独立している。前述したように、後方ラマンポンピングにおける積分時間は、数百マイクロ秒のオーダーとなり、ディザリング（dithering）の必要周波数は、1以下である必要がある、すなわちせいぜい数MHzである。その周波数範囲においては、レーザの必要とされる電子駆動装置はシンプルで、かつ安く容易に構成することができる。

【0018】本発明の主題である時分割多重化スキームには、2つの基本的な方式がある。第1の方式は図4に示すように、複数の固定波長レーザ401(1)...401(N)が、光学的に多重化されるが、それぞれは、電圧被制御ゲート402(1)...402(N)により行われるパルス駆動電流の使用により、別々の時間に動作するようになる。これは概念的には単純であるが、この方式は、平坦なゲインを達成するためには限られた解像度となり（図5）、複数のレーザとマルチプレクサに対する要件は過酷で、そのため高価であり、かさばる傾向にある。図4に示すように、光学システム425内を伝搬する光学信号410と、反対方向に伝搬する結合されたラマンポンプ波長420とを有し、これは、それぞれカプラ426(1)...426(N)により、光学システム425により結合された固定波長レーザ401(1)...401(N)の出力ポンプを結合することにより生成される。

【0019】次に図6を参照すると、本発明の他の実施例が示されている。具体的に説明すると、光学システム625内を伝搬する光学信号610は、カプラ626により光学システム625内に結合された反対方向に伝搬するラマンポンプ波長620を有する。ラマンポンプ波長620は、1つのレーザ601(1)により、あるいは2個のレーザ601(N)により生成され、その出力は、偏光コンバイナ630により偏光多重化される。

【0020】さらにまた本発明の一態様によれば、ポンプレーザは一定（dc）電流により駆動されるが、その波長はプログラム可能な電子関数生成器650により、連続的および周期的に走査される。電子関数生成器650により生成されたプログラム可能な関数は、所望の平坦のゲイン帯域を得るために、所望の方法で変更することができる。この方式（以下便宜上、掃引波長、あるいは掃引周波数スキームと称する）は、2つの単純な（それゆえに経済的）利点と、波長走査駆動電子装置の帯域幅にのみ解像度が制約されるという2つの利点を有する。バンド幅は、数10-数100MHzの範囲内にあ

り、かつ安い電子部品で形成することができるために、解像度は常に第1の方式よりもはるかに良い。高速の周波数走査は、ポンプのBrillouin後方散乱を回避するために、レーザの周波数広域化を形成する必要がなくなる。

【0021】最後に、いずれのスキームにおいても、ラマンゲインの帯域の幅と形状は、関連電子波形を単純に調節することにより、容易かつ高速で制御可能である。ゲイン形状調整装置の構成の単純さ、低価格さ、速度は、純粋に光学的ゲインイコライザの高価性と複雑さ、

10 低速性と、光学的挿入損失と比較すべきことである。
【0022】本発明の掃引周波数方法においては、最も平坦でかつ最も幅の広いゲイン帯域を生成させるようなラマンポンプ周波数のある帯域に対して、重み付け関数を決定するための有効なアルゴリズムを本発明者らは開発した。このアルゴリズムは、1つのポンプ周波数に対する、実験的に測定されたゲインスペクトラム（図2に示すような）を用いる。所望のゲインスペクトラムの平坦領域と、それに基づく推測を対応するものとして仮定することから、対応するskirtsという仮定から始まり、

20 この対応する重み付け関数は定義式のFourier変換により見いだされる。この解決方法は、繰り返しステップを行うことにより、例えば計算されたポンプ重み付け係数を用いて、ラマンゲインスペクトラムのより良好な値を予測することにより改善される。50回から100回の繰り返しが必要であるが、全体のプロセスにかかる時間は高速PCで1分以下である。
【0023】図7、8に前記のアルゴリズムを用いて得た結果の例を示す。具体的に説明すると図7は、ポンプ波長に対し必要とされる重み付け関数と、

30 1511~1410 nmの間で掃引されたときの8 THz以上の幅のフラットなゲイン帯域（1530~1595 nm）を示す。このゲイン帯域は、よりはるかに複雑な、そして面倒なエルビウムファイバ増幅器の「C」バンドと「L」バンドを組み合わせたとほぼ同じ幅を有する。さらにまたこのバンドは、スペクトラル効率が0.4における3.2 Tbit/秒の伝送容量に対し十分余裕がある。
【0024】図8は、このバンド幅に対し、ゲインリップルが0.01 dB以下となるように（公称20 dBから外れた）、あるいは変動が0.05%以下となるよう

40 にした平坦なゲイン領域の拡大図である。上記の105 nm（15 THz）からのポンプ掃引を、84 nm（12 THz）に減少させること、およびこのゲインリップルは8 THzのバンドにわたって十分小さく（0.01 dB以下）、そしてこれは特定のレーザに対し実現可能であるということが重要であると決めることができる。
【0025】図9は、図7の重み付け関数を生成するポンプ周波数における必要とされる周期変動を示す。ポンプレーザの出力周波数は、それに同調するのに用いられる電圧あるいは電流に関し、多かれ少なかれ線形性を維

持するという仮定のもとで、駆動電子装置は図7、図8の結果を正確に再現するために、基本駆動周波数の100倍以下のバンド幅を有する必要がある。この実施例において、仮定した基本駆動周波数が1 MHzの場合には、電子装置のバンド幅は100 MHz以下である必要があり、この要件は容易に適合できる。

【0026】ゲインバンドの形状は、図8のまったく平坦なカーブに限定されない。この掃引周波数方法は、高密度WDMにおける様々な周波数間のラマン相互作用を補償することの必要のある他の単純な形状、例えば図10に示すような線形傾斜も可能となる。長波長チャンネルは、短波長チャンネルとの相互作用からのゲインを受ける。原理的には、平坦で、かつ急速には変動しない関数により表される限り、いかなる形状のゲインバンド幅も可能となる。

【0027】掃引周波数技術を用いると、固定周波数ポンプでの狭いバンドゲインにわたってレーザパワーを大幅に増加できる。図7の場合、例えばその係数は1.87である。必要とされる絶対ポンプパワーに対する感觸を得るために、80 km長さのスパンの分散シフトファイバ（有効コア面積が50 μm^2 ）では、16.8 dBのスパン損失のうち約75%、すなわち12.5 dBが後方ポンブラマンゲインにより補償される。（それ以上に補償することは、信号そのもののRayleigh二重バック散乱からの問題を引き起こす）その場合、もし可能なレベルの信号パワーでは、狭バンドゲインに対しては285 mWのポンプパワーが必要とされ、8 THzの平坦なゲインバンドを生成するためには、そのパワーは533 mWにまで上昇する。大きな信号パワーが必要な場合には（高密度WDMの場合のように）、ポンプパワーは全信号パワーよりも幾分大きい量だけそれに増加させる必要がある。

【0028】ある種のアプリケーションにおいては、前の実施例の全8 THzのバンド幅が必要とされないアプリケーションにおいては、ゲインのバンド幅を減らすことにより必要とされる周波数掃引とポンプレーザのパワー出力を、それに応じて減らすことが可能となる。図11はポンプレーザの10 THzの周波数掃引のみを必要とするような、5 THzゲインのバンド幅に減らし、レーザパワーのファクタは、わずか1.56である例を示している。

【0029】ポンプレーザの高出力パワー（0.5 W以上を光ファイバに結合する）と、高速かつ広い（80 nm以上の）周波数チューニングのような組み合わせた要件に適合する最適な方法は、既知の設計の幅が広く同調可能な低パワー（半導体レーザ）と、その後形成される半導体伝搬波増幅器の組合せを用いることである。同調レーザの有力な候補は、同調垂直カプラフィルタレーザ（tunable vertical-coupler filtered laser: VCFL）であり、これに関しては、I.Kim et al.,著の文

献 "Broadly tunable vertical-coupler filtered tensile-stained InGaAs/InGaAsP multiple quantum well laser," which appeared in Appl. Phys. Lett., Vol 64, pp. 2764(1994). を参照のこと。このデバイスのチューニングは、半導体の屈折率の小さな変動は、広い範囲にわたって（すなわち80nm以上にわたって）長周期グレーティングの位相マッチング波長を容易に変化させるという事実に基づいて行われる。長周期グレーティングを用いて、レーザの後ろファセットをブロードバンドミラーに結合し、大きなフィードバックが位相マッチングした波長時にのみ起こる。他の可能性は、 LiNbO_3 の部品を使用すること、あるいは他の適宜の電子光学結晶を用いて、レーザのフィードバックループ内に挿入される、広範囲に同調可能なLyotフィルタを形成することである。

【0030】本発明の様々な変形例は、当業者に容易に思いつくものである。しかしこれらの変形例は、本発明の特許請求の範囲に含まれるものである。

【0031】例えば、周波数を非常に広いバンド幅（例えば80nm以上）にわたって掃引しながら、高い出力パワーを維持するポンブレザを実現することが困難な場合には、このような問題は、図4、6の技術を組み合わせることにより容易に解決できる。特に図7と11から分かるように、ポンプ重み付け分布は、2つの十分に離れたバンドに分離する傾向がある。すなわち、1つは低周波数範囲をカバーする狭い高密度バンドであり、もう一方は高いポンプ周波数をカバーする広い低密度バンドである。かくして、一対の掃引周波数レーザは、それぞれ、2つのより制限された周波数範囲の一方あるいは他方に対し設計されたものであり、そして周波数ギャップの領域において急峻な遷移を有するWDMカブラとともに多重化され、そしてこれらは掃引周波数分布全体の等価を与えるために時間的に交互に動作する。

【0032】特許請求の範囲の発明の要件の後に括弧で記載した番号がある場合は本発明の一実施例の態様関係を示すもので本発明の範囲を限定するものと解釈してはならない。

【図面の簡単な説明】

【図1】ラマン効果を表す図とラマンゲインを表すグラフ。

フ。

【図2】分散シフト型光ファイバに対するラマンゲインを表すグラフ。

【図3】ラマンポンプに対するポンプ波長対距離の関係を表すグラフ。

【図4】本発明により複数のポンプ波長を光学的に多重化する装置を表す図。

【図5】ラマンゲイン (dB) 対波長の関係を表すグラフ。

10 【図6】本発明の他の実施例を表す図。

【図7】8THz以上の幅で平坦なゲインバンド (1530~1595nm) を表すグラフ。

【図8】図7の平坦なゲイン領域の拡大図。

【図9】図7に示した重み付け関数を生成するのに適したポンプ周波数内の周期的変動を表すグラフ。

【図10】本発明による掃引された周波数ゲインスペクトラムを表すグラフ。

【図11】本発明によりゲインのバンド幅を減らした状態におけるラマンゲイン対周波数の関係を表すグラフ。

20 【符号の説明】

101 基底状態

102 仮想状態

103 放射

104 励起状態

105 光学フォノン

401 固定波長レーザ

402 電圧被制御ゲート

410 光学信号

420 ラマンポンプ波長

30 425 光学システム

426 カブラ

601 電子制御のポンブレザ

610 光学信号

620 ラマンポンプ波長

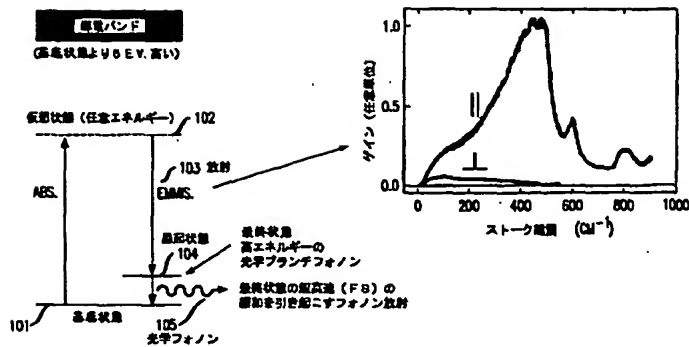
625 光学システム

626 カブラ

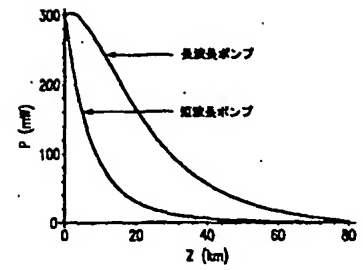
630 偏光コンバイナ

650 プログラム可能な電子関数生成器

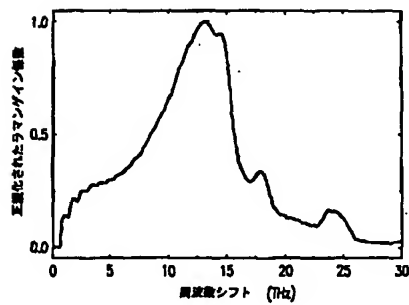
【図1】



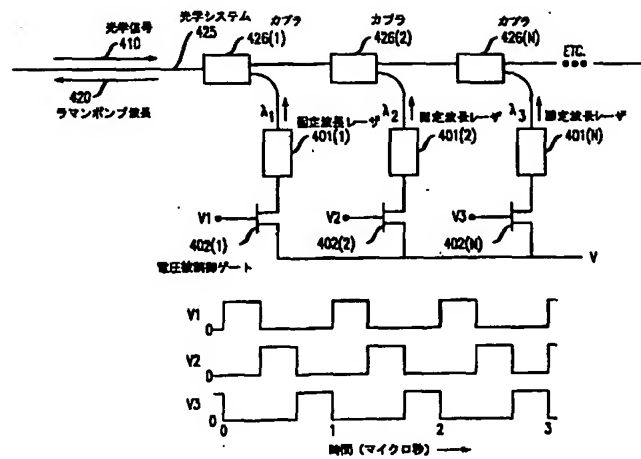
【図3】



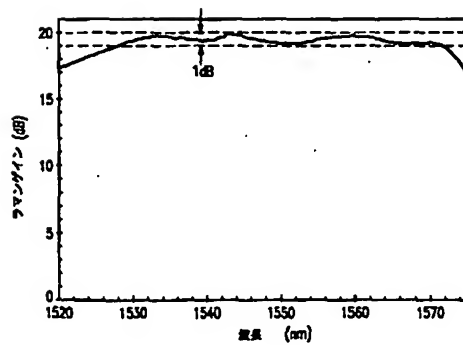
【図2】



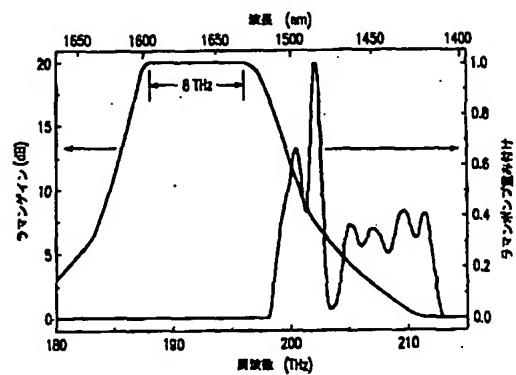
【図4】



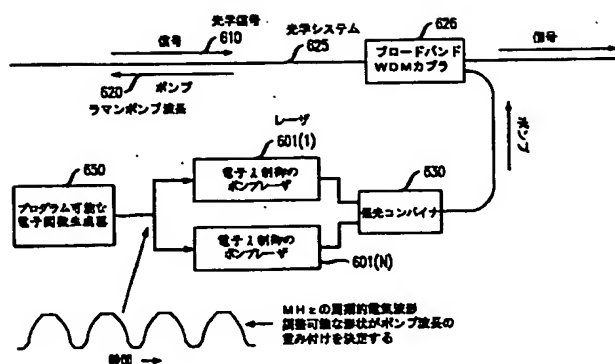
【図5】



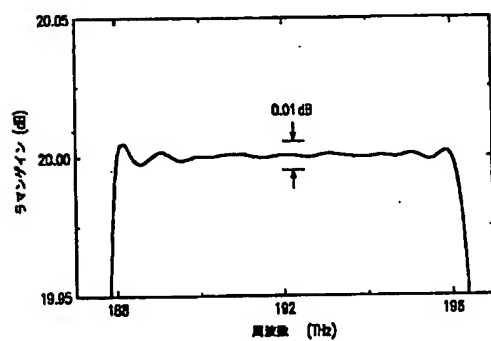
【図7】



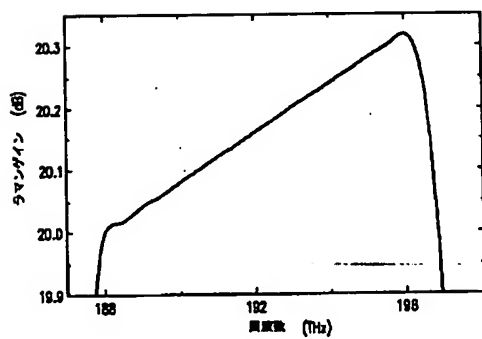
【図6】



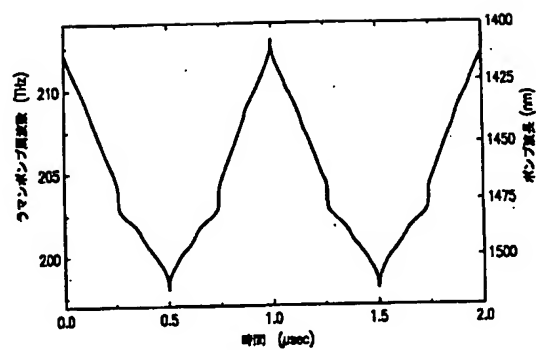
【図8】



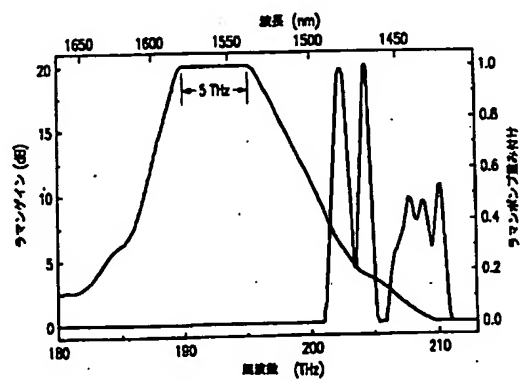
【図10】



【図9】



【図11】



フロントページの続き

(71)出願人 596077259

600 Mountain Avenue,
Murray Hill, New Je
rsey 07974-0636 U. S. A.

(72)発明者 アンドリュー アール グラント

アメリカ合衆国、07747 ニュージャージー
州、マタワン、クロス ロード 5、ア
パートメント 334B

(72)発明者 バベル ヴィクトロヴィッチ マミシェフ
アメリカ合衆国、07751 ニュージャージー
州、モーガンビル、ラレド ドライブ
111

(72)発明者 リン フレッドリック モールナウアー
アメリカ合衆国、07722 ニュージャージー
州、コルツ ネック、カリッジ ヒル
ドライブ 11

Fターム(参考) 2K002 AA02 AB30 BA02 CA15 DA10

GA10 HA23

5F072 AB07 AK06 JJ20 PP07 QQ07

RR01 YY17

5K002 AA06 BA04 CA08 DA31